УДК 629.7.05

Пономаренко С. О., к. т. н., доцент
Карпов Д. А., студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

МОДИФІКОВАНИЙ АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ В КОРЕЛЯЦІЙНО ЕКСТРЕМАЛЬНІЙ НАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ЗА ЦИФРОВОЮ МОДЕЛЛЮ МІСЦЕВОСТІ

Вступ. Сьогодні, під час війни між Україні, підтвердилося, що вирішальну роль у веденні воєнних дій відіграють новітні технології. Особливо ефективно себе проявила надточна зброя ураження цілей на середніх та великих відстанях – гарним прикладом якої є *крилата / крейсерська ракета*. Першочерговою вимогою до такої зброї є забезпечення її високоточними навігаційними системами. Однією з навігаційних систем крилатої ракети є *кореляційно екстремальна навігаційна система* (КЕНС), яка допомагає забезпечити точну навігацію в умовах радіоборотьби під час польоту на великих відстанях, тому напрямок розвитку й покращення КЕНС на сьогодні є безумовно актуальним.

Постановка задачі. Розробити новий алгоритм розрахунку *кореляційної функції* (КРФ) в кореляторі КЕНС. Забезпечити швидкодію нового алгоритму вдвічі більшою за типовий алгоритм підрахунку КРФ.

Методи досліджень. Дослідження роботи нового алгоритму обчислення КРФ в КЕНС проводилося шляхом імітаційного моделювання в середовищі MATLAB. Відтворення польоту крейсерської ракети над випадковою одно-вимірною ділянкою рельєфу місцевості за умов крейсерського режиму руху.

Основна частина. Розглянемо типовий сучасний алгоритм розрахунку КРФ [1] в КЕНС див. форм. (1). Даний алгоритм є ефективним з точки стійкості до похибок вимірювання висоти різного характеру, проте в реальних умовах, де кількість підрахунків КРФ становить десятки тисяч ітерацій за дуже короткий період часу (прольоту над місцевістю, яка сканується) – то загальний

алгоритм висуває дуже ресурсоємні вимоги до цифрового бортового обчислювача для забезпечення задовільної швидкодії, що є головним недоліком даного алгоритму.

$$cor(h_{\text{вим}}, h_{\text{ет}}) = \frac{cov(h_{\text{вим}}, h_{\text{ет}})}{\sigma_{h_{\text{вим}}}\,\sigma_{h_{\text{ет}}}} = \frac{E(h_{\text{вим}}, h_{\text{ет}}) - E(h_{\text{вим}})E(h_{\text{ет}})}{\sqrt{E(h_{\text{вим}}^2) - E(h_{\text{вим}})^2}\,\sqrt{E(h_{\text{ет}}^2) - E(h_{\text{ет}})^2}} =$$

$$= \frac{n\sum_{i,j=1}^{n} h_{\text{вим}\,i} h_{\text{ет}\,j} - \sum_{i=1}^{n} h_{\text{вим}\,i} \cdot \sum_{j=1}^{n} h_{\text{ет}\,j}}{\sqrt{\left(n\sum_{i=1}^{n} h_{\text{вим}\,i}^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} h_{\text{вим}\,i}\right)^2\right)\left(n\sum_{j=1}^{n} h_{\text{ет}\,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} h_{\text{ет}\,j}\right)^2\right)}}, \qquad (1)$$

де n – кількість елементів вектора виміряних висот, $h_{\text{вим}}$ – вектор виміряних висот, $h_{\text{ет}}$ – вектор еталонних висот узятий із *цифрової мапи місцевості* (ЦММ), i, j – номери елементів векторів.

З формули (1) спостерігаємо, що КРФ містить в собі дві інформаційні складові: перша – це коваріаційна функція (КВФ) $cov(h_{вим}, h_{ет})$, а друга – середньо квадратичні відхилення (СКВ) або корені дисперсії виміряної та еталонних висот $\sigma_{h\ вим}$, $\sigma_{h\ ет}$, які за їх суттю називатимемо *шпаруватістю рельєфу місцевості* (ШР) [2]. Новий алгоритм пропонує обраховувати КРФ лише для елементів (що відповідають точкам у просторі), інформативні ознаки яких (КВФ, СКВ) задовольняють наступним умовам.

Умова 1. Відомо, що КВФ має подібну КРФ форму, але значно простіше розраховується (на 63.6% менше ітерацій). Якби місцевість мала однакову ШР, то КРФ і КВФ взагалі були б однакової форми, без врахування нормувань. У реаліях ШР місцевості може варуватися, але як правило, за достатньої довжини вектора вимірювання (яка є прямо пропорційна часу сканування рельєфу), можна ***отримати незначні варування ШР***. Взагалі в межах одного ландшафтного біому (гори, поле т.п.) ця умова виконується майже завжди, але перед використанням запропонованого алгоритму в цьому варто впевнитися.

Умова 2. Як зазначено вище, відбуватиметься попередній розрахунок КВФ, а далі за допомогою оцінки елементів КВФ ми обиратимемо інформативні точки для підрахунку КРФ. Це дозволить суттєво зменшити кількість підрахунків порівняно з типовим методом. І все ж варування ШР будуть присутні, тому потрібно все ж ***розрахувати елементи КРФ, але лише ті, які відповідають елементам КВФ, що знаходяться у діапазоні*** $\left[\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{h\,\text{вим}}}\max(cov)\ldots\max(cov)\right]$, де σ_{min} – це статистично мінімальне значення ШР місцевості, яке попередньо локально розраховується і закладається у пам'ять цифрової бортової обчислювальної машини разом з ЦММ. Другу умову можна пояснити тим, що якщо наш розрахований максимум КВФ^1 має велике значення ШР^1, то при обрахуванні відповідного йому КРФ^1, може з'ясуватися, що це ж значення КРФ^1 буде меншим за якесь інше значення КРФ^2, якому відповідає хоч і менший КВФ^2 зате значно менша ШР^2, тобто виконуватиметься нерівність (2):

$$\frac{cov_1}{\sigma_{\text{вим}}\,\sigma_1} = cor_1 \leq cor_2 = \frac{cov_2}{\sigma_{\text{вим}}\,\sigma_2}\,, \qquad (2)$$

де $cov_1 = \max(cov)$, $\sigma_2 = \sigma_{\min}$.

Оскільки нам потрібно врахувати діапазон КВФ, що відповідають діапазону КРФ, де міститься екстремум (максимум) КРФ→1, то для cov_2 – не максимального елемента КВФ, але такого, що відповідає екстремуму КРФ, $\sigma_1 = \sigma_{\text{вим}}$ (ШР будь-якої відсканованої ділянки місцевості) має виконуватися:

$$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{\text{вим}}}\max(cov) < cov_2\,|_{\max\,(cor)} \qquad (3)$$

Що менше $\downarrow\sigma_{\min}$, і/або що більше $\uparrow\sigma_{\text{вим}}$ – то більше діапазон охвату, а з тим точність залишається високою, як у типового алгоритму підрахунку КРФ.

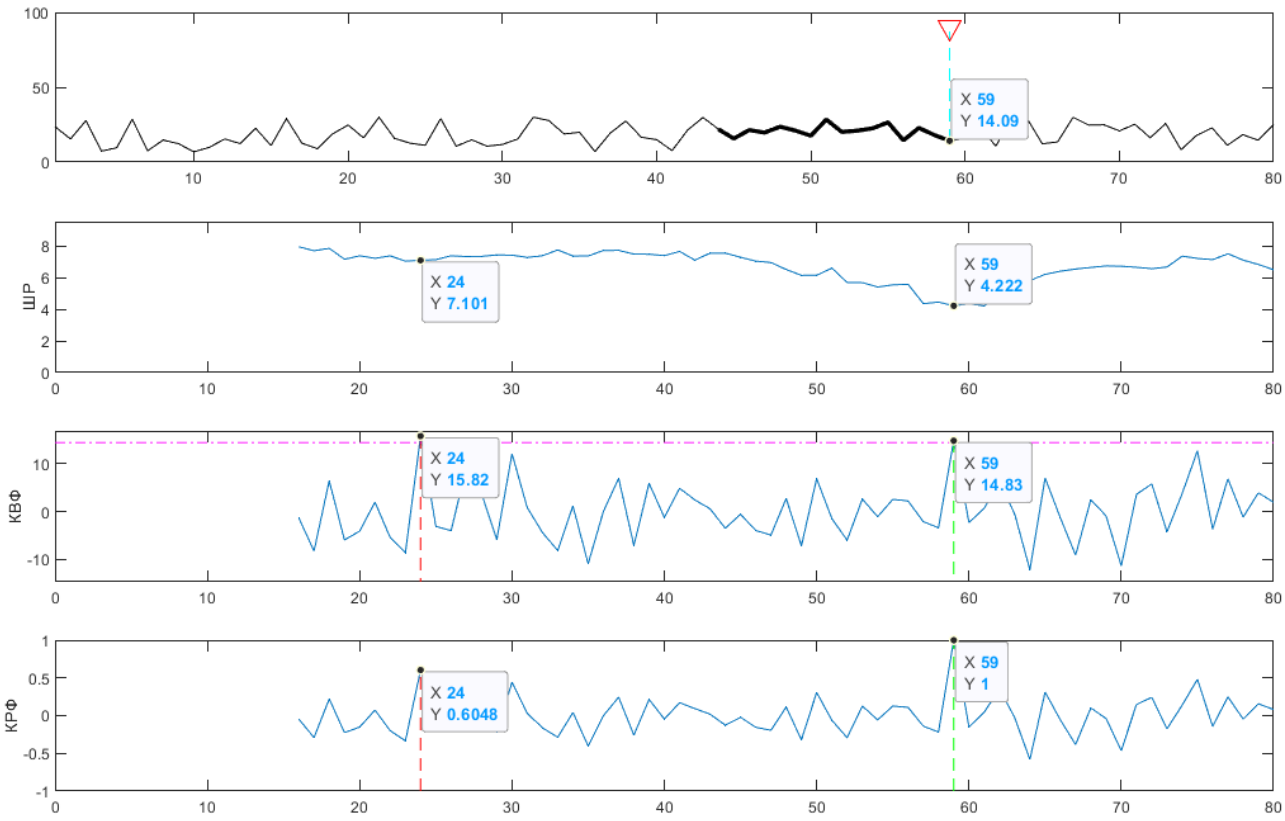

Рисунок 1. – а) Рельєф місцевості; б) ШР; в) КВФ; г) КРФ.

Висновки. Проведене моделювання одновимірної випадкової місцевості довжиною 80 точок, висотою 10…30 м з наведеними інформаційними характеристиками підтверджує дієвість розробленого алгоритму. Оскільки умовне відношення ітерацій розрахунку КВФ/КРФ = 4/11, то розрахунок КРФ лише для двох точок з (80-16+1)=65 (де крок сканування = 16) дозволило збільшити швидкодію на 61.7% тобто задачу перевиконано (+50%).

Максимальний приріст швидкодії може становить 63.6%, а найгірший – 0%, але це тільки за умови, що в діапазон КВФ потрапили усі значення, тобто абсолютне нехтування першою умовою. Середньо статистично покращення швидкодії становитиме 50%, що дозволяє помістити аж 27.5% у запасний діапазон з другої умови (більше четвертини невизначеності між КВФ та КРФ).

Джерела

1. Бєлоглазов І.М., Джанджгава Г.І., Чигин Г.П. Основи навігації за геофізичними полями/ Бєлоглазов І.М, Джанджгава Г.І / Головна редакція фізико-математичної літератури/ – Київ: «Наука».– 328 с.

2. Siouris, G. M. Missile Guidance and Control Systems. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2004, 680 p.